

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Nikola Bartošová

**Koncentrace PM na lezeckých stěnách: případová studie ze dvou lezeckých
stěn v Praze.**

PM Exposure in Climbing Gyms: Case study of two climbing walls in Prague

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jan Bendl

Konzultant: RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.

Praha 2018

Charles University
Faculty of Science

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 22.5.2018

.....

podpis

Poděkování:

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu práce Mgr. Janu Bendlovi za jeho čas, cenné rady a trpělivost. Rovněž bych chtěla poděkovat RNDr. Janu Hovorkovi Ph.D. za vstřícnost a poskytnutí odborných rad. Děkuji také vlastníkům a zaměstnancům lezeckého centra SmíchOFF a lezeckého centra Mammut za umožnění měření a ochotu při sběru dat.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou zvýšených hmotnostních koncentrací částic PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ ve dvou konkrétních Pražských lezeckých centrech. Zdrojem těchto částic je používání práškového magnesia, které lezci používají k vysoušení pokožky rukou. Zkoumá se předpokládaná závislost koncentrací prachových částic na aktuálním počtu návštěvníků lezecké haly. Prachové částice mají prokazatelně negativní vliv na lidské zdraví. Částice měřené v rámci této práce mají schopnost po vdechnutí pronikat až do dýchacích cest.

Velikostně segregovaný aerosol byl měřen pomocí DustTraku DRX. Jedná se o laserový nefelometr. V jednom z center byla použita i gravimetrická analýza. K tomuto měření byl použit Harvard impaktor, který měří koncentraci PM₁₀. Všechna měření proběhla v období 20.4.2016 – 5.2.2017.

V lezeckém centru Mammuth se průměrné hodnoty PM₁₀ pohybovaly mezi 0,125 – 0,167 mg.m⁻³ a v někdy vzrůstaly až čtyřnásobně. V lezeckém centru SmíchOFF byla naměřena maxima PM₁₀ kolem hodnoty 1,7 mg.m⁻³ a průměrné hodnoty se pohybovaly mezi 0,368 – 0,901 mg.m⁻³. V obou lezeckých centrech převyšovaly průměrné denní hodnoty imisní limity pro PM₁₀ a PM_{2.5}.

Ze zdravotního hlediska by bylo vhodné předcházet vzniku takto vysokých koncentrací, nebo jejich koncentrace v lezeckých halách alespoň snižovat vhodným odvětráním či vzduchotechnikou.

Klíčová slova: PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, aerosol, prachové částice, práškové magnesium

Abstract

This thesis deals with the issue of high exposure of dust particles PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ in two specific climbing gyms in Prague. The source of these particles is linked to the use of magnesia alba that the climbers use to dry up the skin of their hands. The thesis analyzes the expected correlation between the dust particles concentration and the current number of visitors of the climbing gym. The dust particles are proven to have a negative effect on the health of individuals. The dust particles measured in this thesis are able to penetrate the respiratory tract.

The size segregated aerosol was measured using DustTrak DRX. It is a laser nephelometer. In one of the gyms, a gravimetric analysis was performed, using a Harvard impactor that measures the PM₁₀ concentration. All measurements were performed within the period of 20.4.2016 – 5.2.2017.

In the climbing center Mammut, the PM₁₀ exposure was measured at 0,125 – 0,167 mg*m⁻³, which could quadruple in the most frequented time periods. The climbing gym SmíchOFF measured the maximum levels of PM₁₀ at 0,368 – 0,901 mg*m⁻³. Both climbing centers exceeded the average daily imission limits for PM₁₀ and PM_{2.5}.

From the health perspective, it is recommended to prevent such high exposure levels or lower the concentrations in the climbing gyms by suitable ventilation or air-conditioning systems.

Key words: PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, aerosol, dust particles, magnesia alba

Obsah

Seznam zkratk	7
1. Úvod.....	8
1.1. Aerosolové částice.....	9
1.1.1. Velikostní distribuce aerosolu	10
1.1.2. Ekvivalentní průměr částice	10
1.1.3. Prachové částice – základní charakteristika, zdroje.....	11
1.2. Vnitřní prostředí.....	12
1.2.1. Původ prachových částic na lezeckých stěnách	12
1.3. Zdravotní škodlivost prachových částic.....	13
1.3.1. Limity pro pracovní prostředí	14
1.3.2. Imisní limity.....	14
2. Hypotéza a cíle	15
3. Metodika.....	16
3.1. Popis lokací.....	16
3.1.1. Lezecké centrum Smíchoff.....	16
3.1.2. Lezecké Centrum Mammuth	17
3.2. Popis měřicí techniky a postupu měření.....	17
3.2.1. DustTrak DRX 8533.....	17
3.2.2. Harvard impaktor	18
3.3. Umístění DustTraku a Harvard impaktoru	18
4. Výsledky měření.....	19
4.1. Měření v lezeckém centru SmíchOFF - DustTrak.....	19
4.2. Lezecké centrum SmíchOFF – harvard impaktor	25
4.3. Měření v lezeckém centru Mammuth.....	25
5. Diskuze	30
6. Závěr	32
Literatura	33
Elektronické zdroje	35
Přílohy.....	36

Seznam zkratk

AIM – Automatický imisní monitoring

CAS – mezinárodně uznávaná databáze chemických látek

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

DT – DustTrak (optický monitor aerosolových částic)

EC – Evropská komise (z angl. European Commission)

NPK-P – nejvyšší přípustná koncentrace určité chemické sloučeniny v ovzduší na pracovišti

PEL – přípustný expoziční limit, celosměnový časově vážený průměr koncentrací aerosolů

PM_{xx} – z angl. particulate matter –pevné či kapalné částice v ovzduší o aerodynamickém průměru menším než „xx“ v mikrometrech (například PM₁₀, PM_{2,5})

RESP – respirabilní frakce částic o aerodynamickém průměru menším než 4 μm, kterou měří přístroj DustTrak DRX,

SZÚ – Státní zdravotní ústav

TOTAL – frakce částic o aerodynamickém průměru menším než 15 μm, veškeré aerosolové částice měřené přístrojem DustTrak DRX

WHO – Světová zdravotnická organizace (z angl. World Health Organisation)

1. Úvod

Cílem experimentální práce je měření hmotnostních koncentrací aerosolových částic PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 a vývoje těchto koncentrací v průběhu dne v prostředí dvou pražských lezeckých stěn. Pobyt na místech se zvýšenými koncentracemi těchto částic může mít negativní dopad na lidské zdraví (Ling, S. H. & van Eeden, S. F., 2009). Motivací bylo pozorování zvýšené prašnosti v důsledku používání práškového magnesia, které na těchto lezeckých stěnách dosud nebylo kvantifikováno.

Sportovní lezení se stává stále oblíbenějším a dostupnějším sportem. Amatérští lezci tráví 6-8 hodin týdně ve vnitřních prostorách lezeckých hal, profesionálové pak 8-12 hodin týdně. Obvyklá návštěva stěny trvá přibližně 2-3 hodiny (Weinbruch, S. et al., 2008). Lidé přitom tráví ve vnitřních prostorech 85 - 90 % svého času – doma, v kancelářích či ve veřejných budovách (Klepeis, N. et al., 2001).

Lezecké haly jsou většinou bývalými průmyslovými halami o výšce stropu alespoň 10 m, kdy vnitřní stěny tvoří struktury a různě zkosené desky z překližky, které jsou osazeny chyty a karabinami pro jištění lezců pomocí lan a jisticích pomůcek. Právě z důvodu jištění tedy tráví horolezci v prostoru stěny větší množství času, než je u běžných sportovních aktivit. Stěny navštěvují jak začátečníci, tak profesionální lezci.

V prostorách lezeckých hal byly zjištěny zvýšené koncentrace prachových částic (Weinbruch, S. et al., 2008; Weinbruch, S., et al. 2012; Alves, C. et al., 2014). Zdrojem těchto pevných částic je křídové magnesium, chemicky označované $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4-5H_2O$. Křídové magnesium bývá nejčastěji používáno v práškové (sypké) formě. Tato látka slouží k vysoušení pokožky dlaní, čímž napomáhá zvýšení tření mezi rukou a chytem (Amca, A. M. et al., 2001).

Před lezením si lezci nasypou práškové magnesium do uzavřeného textilního pytlíku, který si pomocí pásku nebo karabiny připnou kolem pasu či k sedacímu úvazku, aby ho měli neustále k dispozici. Je to kulatá kapsa, velká tak akorát pro pohodlné ponoření jedné ruky přibližně po zápěstí. V průběhu lezení pak lezec opakovaně, dle potřeby, vkládá postupně ruce do pytlíku a aplikuje tak magnesium na celé dlaně. Při neopatrné manipulaci dochází k rozptýlování většího množství magnesia, než by bylo nezbytně nutné. Lezci také často používají nadbytek magnesia, kdy „přebytečnou“ část sfouknou nebo sklejou do prostoru – k tomuto dochází v celé výšce lezecké stěny.

Méně prášící alternativou je možnost mít prášek nasypaný v polyamidové látce ve tvaru koule o průměru kolem 10 cm, která se vkládá do pytlíku, namísto pouhého vysypání

práškového magnesia přímo do pytlíku. V takovém případě se na ruku dostane menší množství magnesia a nedochází tolik k jeho zbytečnému rozprašování. Pro někoho ovšem nemusí být takové vysušení rukou dostatečné. Další alternativou je magnesium v tekuté formě. Aplikuje se z tuby přímo na ruce před sportovním výkonem podobně jako krém. Poté se nechá několik vteřin zaschnout. Tato vrstva vydrží na dlaních o trochu déle, ne však po celou dobu lezení. Není možná opětovná aplikace během lezení, na rozdíl od použití práškové formy magnesia. Používání tohoto druhu magnesia však vykazovalo podstatně nižší koncentrace prachových částic rozptýlených v prostorách haly (Weinbruch, S. et al., 2012).

Při sportovním výkonu také dochází k intenzivnějšímu dýchání, což má za následek větší objem vdechovaného vzduchu za časovou jednotku. Jako rizikový jedinci se jeví hlavně malé děti, starší osoby a osoby s respiračním onemocněním (Pope, C. A. et al., 2002).

Věk lezců nebývá omezen, na stěnách často probíhají kroužky pro děti školního věku a někteří rodiče dokonce parkují v prostoru lezecké haly kočárky s novorozenci po dobu svých lezeckých výkonů.

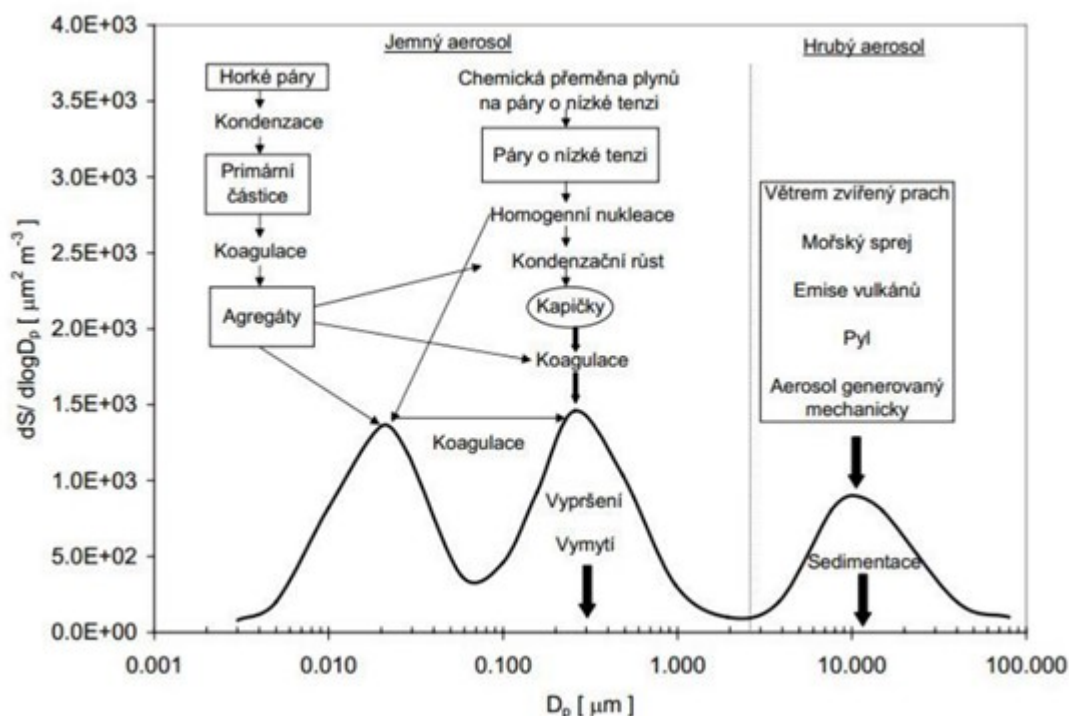
1.1. Aerosolové částice

Atmosférický aerosol je soubor pevných, kapalných či směsných částic antropogenního i přírodního původu, který mohou tvořit anorganické i organické látky. Velikostně sem řadíme částice o velikosti od 1 nm do 100 μm , přičemž velikost je jednou z nejdůležitějších charakteristik atmosférického aerosolu. Velikost částic determinuje fyzikální chování v atmosféře, schopnost průniku do organismů a působení na lidské zdraví. Aerosolové částice v atmosféře umožňují koloběh vody na Zemi (kondenzační jádra) a vytvářejí všeobecně známé jevy jako například mlhu či oblaka. Mají rovněž vliv na tepelnou bilanci Země a v závislosti na jejich povaze mohou být zdraví škodlivé, ale i prospěšné (Hovorka et al., 2009).

Aerosolové částice v ovzduší běžně označujeme zkratkou PM (z anglického particulate matter). Dělíme je podle jejich aerodynamického průměru do velikostních frakcí. Jako hrubý aerosol označujeme částice větší 2,5 μm (Hinds, 1999). Hrubý aerosol je součástí PM_{10} – částic o velikosti menší než 10 μm . Jako jemné částice označujeme frakci částic $\text{PM}_{2,5}$ a ultrajemné částice pak PM_1 a $\text{PM}_{0,1}$ (Cuccia, E. et al., 2010).

1.1.1. Velikostní distribuce aerosolu

Distribuce aerosolových částic ve venkovním ovzduší je obvykle trimodální. Toto rozdělení je založeno zejména na jejich velikosti a původu. Na *obr. 1* vidíme dva módy v oblasti jemných částic – velikostně menších, než je mód v oblasti hrubých částic. Hranicí mezi těmito oblastmi je hodnota okolo $2,5\ \mu\text{m}$ (Pope, C. A., 2000).

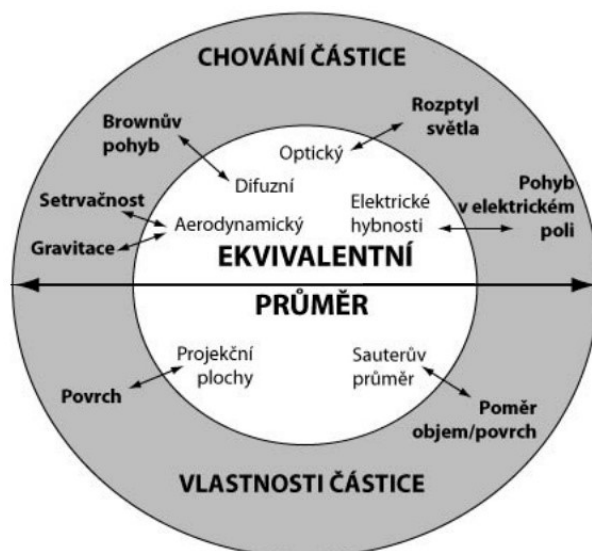


Obr. 1: Idealizované schéma rozšíření částic atmosférického aerosolu dle velikosti. V oblasti hrubého aerosolu můžeme vidět hlavní zdroje a také hlavní proces jejich odstraňování z atmosféry – sedimentaci (Braniš et al., 2009).

1.1.2. Ekvivalentní průměr částice

Vlastnosti aerosolu jsou charakterizovány zejména velikostí částic (Hinds, W. C., 1999).

Ekvivalentní aerodynamický průměr částice je průměr teoretické částice, se standardní měrnou hustotou ($1000\ \text{kg/m}^3$) a se stejnou hodnotou měřené fyzikální veličiny jako sledovaná částice (například stejná rychlost usazování). Používá se při měření charakteristických vlastností částice. Z *obr. 2* je patrné, že geometrický a aerodynamický průměr částice se může lišit v závislosti na měrné hmotnosti částice (Braniš, M. et al., 2009). Částice o relativně menší hustotě, jakou mají na příklad pylová zrna, v ovzduší vykazují vlastnosti jako částice o menším geometrickém průměru.



Obr. 2: Ekvivalentní průměr částice, který je závislý na měření chování nebo vlastností částice (Braniš, M. et al., 2009).

1.1.3. Prachové částice – základní charakteristika, zdroje

Jako prachové částice označujeme tu část aerosolu, která je tvořena z pevných látek rozptýlených ve vzduchu (Braniš, M., & Hůnová, I., 2009). Patří sem například popílek, saze, pyl, krystalky solí apod. Zdroje těchto částic mohou být antropogenního původu – zejména doprava, průmysl či lokální topeniště přispívají velkou měrou (Braniš et al., 2009). Prachové částice mohou být také výsledkem přirozených jevů jako je eroze či sopečná činnost (Hinds, W. C., 1999). Podle vzniku lze rozeznávat aerosol primární a sekundární (Curtius, J., 2006).

Primární aerosol (viz obr. 1 - mod hrubých částic) jsou částice prvotně vzniklé působením mechanických sil, jejich aerodynamický průměr je kolem 10 μm . Zejména se jedná o prach zvěřený větrem, dopravou nebo emitovaný stavební aktivitou, spalováním uhlí či zpracováním rud. Nejmenší mechanicky generované částice mají aerodynamický průměr větší než 0,6 μm (Braniš, M., & Hůnová, I., 2009).

Sekundární aerosol spadá do oblasti jemných částic (viz obr. 1) a nazývá se také nukleační. Jeho částice vznikají zejména při vysokoteplotních dějích (hoření, tavení rud a kovů, svařování) a při fotochemických reakcích v atmosféře. Částice jsou velmi reaktivní, jejich doba setrvání v troposféře je relativně krátká, řádově v jednotkách vteřin až desítek minut. Druhým modelem je mod tzv. akumulární, ten tvoří většinu povrchu a hlavní část hmotnosti atmosférického aerosolu. Částice vznikají zejména kondenzací plynů, chemickými reakcemi, kondenzací par na částice a koagulací částic nukleačního modu. Doba setrvání v atmosféře je

řádově v jednotkách dnů až týdnů. Tyto částice jsou nejpočetnější skupinou v troposféře (Hinds, W.C., 1999).

Velikostní distribuce ve specifických prostředích jako je lezecká stěna se může značně lišit. Dominují zde zpravidla prachové částice s geometrickým průměrem 700 nm – 4 μm (Weinbruch, S. et al., 2008). Jedná se tedy o částice spadající do kategorií PM₁, PM_{2.5} a PM₁₀. Z venkovního prostředí proniká do vnitřních prostor přibližně 60 % aerosolu, tento údaj je ale velmi proměnlivý v závislosti na větším množství faktorů (Chen, C. & Zhao, B., 2011) a tak se na velikostní distribuci aerosolu v lezecké hale podílí jak venkovní prostředí, tak příspěvek částic generovaných uvnitř haly.

1.2. Vnitřní prostředí

Ovzduší vnitřních prostor je ovlivněno několika faktory, zejména pronikáním aerosolu z vnějšího prostředí, ventilací (mechanickou či přirozenou), suchou depozicí a v neposlední řadě vnitřními zdroji (Hussein, T., 2017). Výměna aerosolu mezi vnitřním a vnějším prostředím probíhá neustále, je ale velmi obtížné ji kvantifikovat. Vliv má řada faktorů, od technických – jako jsou parametry konkrétní budovy, až po meteorologické – rozdíl teplot, povětrnostní podmínky, relativní vzdušná vlhkost. Vliv má také velikost a hustota samotných částic. Poměr vnitřních a vnějších koncentrací tak může být různý (Chen, C. & Zhao, B., 2011). V závislosti na pohybu vzduchu a aerodynamickém průměru částic dochází také k sedimentaci (usazování) částic, a naopak, i k jejich opětovnému zvěření neboli resuspenzi (Hinds, W.C., 1999).

1.2.1. Původ prachových částic na lezeckých stěnách

K vysokým koncentracím prachových částic na lezeckých stěnách z velké části přispívá používání křídového magnesia. Jeho hlavní složkou je pentahydrát hydrogenuhličitanu hořečnatého $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ s registračním číslem CAS 12125-28-9.

Tato látka slouží k vysoušení pokožky dlaní, čímž napomáhá zvýšení tření mezi rukou a chytem (Amca, A. M. et al., 2001). Magnesium lezci používají v podobě prášku, stejně jako je užíváno v gymnastických halách, s tím rozdílem, že ho obvykle mají ve speciálních pytlících k dispozici po celou dobu sportovního výkonu. Z toho vyplývá, že magnesium bývá rozptýlováno přibližně rovnoměrně v průběhu celé výšky lezecké haly, která se obvykle pohybuje od 8 do 16 metrů. Částice magnesia potom mají tendenci sedimentovat.

S průměrnou velikostí částic 700 nm – 4 μm (Weinbruch, S. et al., 2008), je jejich gravitační usazovací rychlost přibližně mezi $8,69 \cdot 10^{-7}$ – $3,51 \cdot 10^{-5}$ m*s⁻¹ (Chen, C. & Zhao, B., 2011).

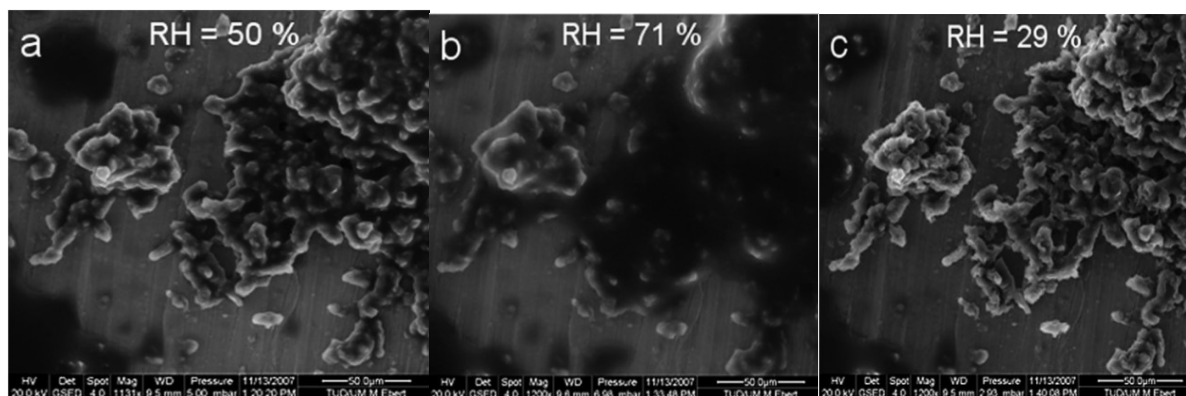
1.3. Zdravotní škodlivost prachových částic

Podle některých studií má vdechování zvýšených koncentrací prachových částic za následek bolesti hlavy, dráždění ke kašli, podráždění horních cest dýchacích a další (Osunsanya, T., Prescott, G., & Seaton, A., 2001). Ke vdechování dochází ústy a nosem a jejich chování ovlivňuje zejména aerodynamický průměr částic (Hůnová a Janoušková, 2004). U některých lidí může docházet i k podráždění očí (Weinbruch, S. et al., 2008). Velice také záleží na chemickém složení částic a organických látek absorbovaných na jejich povrchu.

Částice, které můžeme vdechnout ústy či nosem, označujeme jako vdechnutelnou frakci. Thorakální frakce proniká hrtanem a dýchatelná (respirabilní) frakce se dostává až do dýchacích cest, kde již není řasinkový epitel. Tyto schopnosti jsou dané velikostí částic, vdechnutelná složka obsahuje částice o velikosti i 100 μm, throakální a dýchatelná složka se pohybuje hlavně v rozmezí 4-10 μm (SZÚ, Prašnost na pracovišti [online]).

V současné době WHO a EU ukládají limity pro koncentrace PM_{2.5} a PM₁₀, pro jejich schopnost vniknout do plic a způsobovat kardiovaskulární a respirační onemocnění, které prokazatelně vedou k předčasným úmrtím populace. Jako nejnebezpečnější se jeví částice PM₁, které snadno proniknou přes plicní sklípky vlasečncemi až do krve, kterou se mohou dostat až do orgánů, či poškozovat vnitřní stěny artérií. V nejhorších případech mohou přispívat ke smrtelným chorobám jako je rakovina plic, plicní edém či srdeční příhody a řada dalších (Phalen, R. & Phalen, R., 2012; Ling, S. H. & van Eeden, S. F., 2009).

Částice práškového magnesia nejsou rozpustné ve vodě, nerozpouští se tedy při vysoké vzdušné relativní vlhkosti. Při hodnotách nad 40-50 % relativní vzdušné vlhkosti se ale začínají pokrývat tenkou vrstvou vody (viz obr. 3), která ovlivňuje ukládání částic v respiračním traktu. Dospělo se k závěru, že pevné částice magnesia se v lidském respiračním traktu jednoznačně ukládají, protože nedojde k jejich rozpuštění (Weinbruch, S. et al., 2008).



Obr. 3: Fotka prachových částic magnesia, pořízena skenovacím elektronovým mikroskopem. (a) relativní vzdušná vlhkost 50 %, (b) relativní vzdušná vlhkost 71 %, (c) relativní vzdušná vlhkost 29 %; teplota 5 °C (Weinbruch, S. et al., 2008).

1.3.1. Limity pro pracovní prostředí

Zatímco pro pracovní prostředí existují zákonem stanovené limity koncentrací daných látek v ovzduší – přípustný expoziční limit (PEL) a nejvyšší přípustná koncentrace (NPK-P) (nařízení vlády č. 361/2007 Sb., § 9 odst. 2 a 4). NPK-P je nejvyšší přípustná koncentrace látky, které mohou být zaměstnanci vystavováni nepřetržitě po krátkou dobu, bez toho, aby cítili dráždní dýchacích cest nebo očí, nebo bylo ohroženo jejich zdraví. PEL jsou celosměnově vážené průměry koncentrací aerosolů, par nebo plynů v pracovním ovzduší, kterým mohou být zaměstnanci vystaveni po celou dobu pracovní doby, aniž by i v případě celoživotní pracovní expozice došlo k poškození jejich zdraví (SZÚ, Prašnost na pracovišti [online]).

Pro sportoviště žádné zákonem stanovené limity nejsou. Limity pro prašnost v pracovním prostředí jsou stanovovány ze zákona Nařízením vlády č. 361/2007 Sb. V tomto nařízení lze najít postup pro výpočet jednotlivých PEL.

1.3.2. Imisní limity

Podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. jsou stanovené limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení (ČHMÚ, Imisní limity [online]).

V ČR je pro PM_{10} je stanoven imisní limit $50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pro 24 hodinový průměr a limit $40 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pro průměr na kalendářní rok – stejně to stanovují předpisy EU (ČHMÚ, Imisní limity [online]; EC, Air Quality Standards [online]).

Pro PM_{2.5} je stanoven jen roční imisní limit a to hodnotou 25 µg.m⁻³, ta opět odpovídá hodnotě, kterou stanovila EU (ČHMÚ, Imisní limity [online]; EC, Air Quality Standards [online]).

Imisní limity pro částice PM₁ stanoveny nejsou.

2. Hypotéza a cíle

Cílem práce je sledování velikostně segregovaných prachových částic ve vnitřním prostředí lezeckých center SmíchOFF a Mammut. Sledovat vývoj koncentrací v průběhu běžné otevírací doby i během doby, kdy je hala uzavřená, aby byla zřetelná sedimentace částic. Je předpokládána závislost zvýšené prašnosti na aktuálním počtu návštěvníků. Měřením velikostně segregovaného aerosolu ve vnitřním prostředí lezeckých stěn, gymnastických hal a tělocvičen se již zabývali v zahraničí (Alves, C. et al., 2014; Weinbruch, S. et al., 2008). V Čechách proběhla měření prašnosti ve školních tělocvičnách (Braniš, M., Šafránek, J. & Hytychová, A., 2009; Braniš, M. & Šafránek, J., 2011), měření na lezeckých stěnách však u nás zatím nikdo nepublikoval.

Vzhledem ke způsobu vzniku částic je zvýšená koncentrace pevných částic předpokládána hlavně v oblasti hrubého aerosolu.

3. Metodika

Měření velikostně segregovaného aerosolu probíhalo v období od 13. 6. 2016 do 6. 2. 2017 ve 2 lezeckých halách v Praze: SmíchOFF a Mammut. DustTrak DRX 8533 (TSI) zaznamenával s vteřinovou resolucí, a to ve frakcích PM₁₀ (částice o průměru menším než 10 µm), PM_{2,5} (částice o průměru menším než 2.5 µm), PM₁ (částice o průměru menším než 1 µm) a vdechnutelná frakce (částice s průměrem do 15 µm, v měřeních je označujeme zkratkou TOTAL) (TSI, Application notes [online]).

Měření bylo prováděno v zimních měsících, tedy v období, kdy jsou lezecké haly nejvíce navštěvované.

Celkem bylo měřeno 15 dnů, 8 dnů v lezeckém centru SmíchOFF a 7 dnů v lezeckém centru Mammut.

Pomocí Harvard impaktoru bylo měřeno od 20.4.2016 11:05 do 21.4.2016 8:10, celkem 21 hodin a 5 minut. Druhé měření Harvard impaktorem bylo od 21.4.2016 8:05 do 22.4.2016, přesně 24 hodin 8:05.

3.1. Popis lokací

Měření probíhalo ve dvou často navštěvovaných lezeckých halách v Praze. V halách, ve kterých probíhalo měření, nebyla instalována žádná vzduchotechnika. V lezeckém centru SmíchOFF je nyní instalována vzduchotechnika Thermwet – 2x Ventbox 400 s frekvencí 50 Hz a příkonem 2940 W, tato vzduchotechnika je však instalována pouze pro prostory chodby, recepcce a šaten, nikoliv v samotné lezecké hale.

3.1.1. Lezecké centrum Smíchoff

Lezecká hala se nachází v městské části Praha 5 – Smíchov v bývalé tovární hale (50°3'27.396" s. š., 14°24'22.012" v.d.). Ve vzdálenosti asi 100 m od lezecké haly se nachází frekventovaná rychlostní silnice Dobříšská. V době, kdy probíhalo naše měření, se denní průměrný počet vozidel v obou směrech pohyboval kolem 76 000 vozidel (Tunel Blanka, Intenzita dopravy [online])

Stěna má dvě volně průchozí haly, měření probíhalo ve větší z nich, o rozměrech 16 x 32 metrů a výšce od 14 do 15,5 metrů. Vedlejší menší hala má rozměry 15 x 15 metrů s výškou 15 metrů. V hale se nachází cesty všech obtížností, od začátečnických profilů, přes profily pro pokročilé až po převísle profily pro profesionální lezce. Celkový objem haly odhaduji kolem 7700 m³.

Při návštěvě stěny je povoleno používat magnesium v jakékoliv formě. Otevírací doba Út-Čt: 7:00 - 23:30, Po a Pá: 7:00 - 23:00, SO a NE: 8:00 - 23:00. Nejfrekventovanější hodiny v pracovní dny jsou v době mezi 18:00-22:00.

Nejbližší stanice AIM ČHMÚ (zóna městská, typ stanice dopravní) se nachází u výjezdu ze Strahovského tunelu (50° 4' 23.287" s. š. 14° 23' 53.307" v. d.), která je v kategorii dopravních stanic, je tedy do značné míry ovlivněna hustotou provozu. Proto jsem pro informaci o pozadových hodnotách zvolila raději stanici Praha 5 – Stodůlky (50° 2' 46.072" s. š. 14° 19' 53.088" v. d.), která je v kategorii městských pozadových stanic. Stanice zaznamenává koncentrace PM₁₀ i PM_{2.5}.

3.1.2. Lezecké Centrum Mammut

Stěna je umístěna v hale v městské části Praha 7 – Holešovice (50°6'19.265" s. š., 14°26'5.972" v. d.), uprostřed městské zástavby. V blízkosti se nachází vlakové nádraží.

Hala má v nejvyšším bodě výšku 12 metrů, většina haly má výšku kolem 8-10 metrů. Rozměry místnosti jsou přibližně 10x15 metrů. Odhadovaný objem haly kolem 1400 m³ je přibližně 5,5x menší, než v lezecké hale SmíchOFF. V hale je možnost větrání otevřením velkých střešních oken, která jsou otevírána dle potřeby.

Na této stěně je oficiálně zakázáno používat magnesium v klasické práškové formě, ale velká část návštěvníků o tomto zákazu neví, nebo jej nebere na vědomí. Provozní hodiny jsou Út-St: 7:00 – 23:00, So-Po: 10:00 – 23:00. Nejfrekventovanější hodiny jsou 18:00 - 22:00.

Nejbližší stanicí AIM ČHMÚ je stanice na Praze 8 – Karlín. Typ stanice je opět dopravní, je umístěna u hlavní komunikace se středně hustým provozem (50° 5' 39.258" s. š. 14° 26' 31.376" v. d.). Proto jsem i v tomto případě vybrala stanici, která je umístěna dál. Zvolila jsem stanici Praha 1 – Náměstí Republiky (50° 5' 17.038" s. š. 14° 25' 45.193" v. d.), vedenou také jako městskou pozadovou stanicí. Stanice také zaznamenává koncentrace PM₁₀ i PM_{2.5}.

3.2. Popis měřicí techniky a postupu měření

3.2.1. DustTrak DRX 8533

Pro měření koncentrací prachových částic byl použit DustTrak DRX, model 8533 (TSI). Jedná se o laserový fotometr měřící hmotnostní a velikostní frakci částic na základě rozptylu světla. Přístroj měří částice o průměru od 0,1 do 15 µm, které podle velikostních frakcí dělí na PM₁₀, respirabilní frakci (1–10 µm), PM_{2.5}, PM₁ a celkovou sumu všech PM (do 15 µm) a

zaznamenává koncentrace od 0,001 do 150 mg.m⁻³ (Manuál pro DustTrak DRX aerosol monitor 8533).

Přístroj byl uzavřen v ochranném, přenosném kufříku, jehož všesměrový inlet (odběrová hlavice) se nachází v jeho horní části. S přístrojem je spojena pomocí speciální konduktivní hadičky. Pumpa v přístroji vytváří podtlak a nasátý vzduch s prachovými částicemi je veden úzkou tryskou do trubičky, do které je zá

roveň vháněn čistý vzduch, vytvářející podtlak. Díky němu dochází nejen k nasávání částic, ale zároveň se předchází usazování částic po obvodu trubičky, protože jsou směřovány do jejího středu. Částice jsou poté vedeny přes infračervený paprsek pod úhlem 90°, částicemi odražené světlo zaznamenává detektor, který podle intenzity odraženého záření vypočítá hmotností koncentraci částic v daném objemu vzduchu. DustTrak byl kalibrován 23.01.2013 na Arizonský prach, naměřené hodnoty PM tedy mohou být o něco vyšší než reálné.

Průtok DT byl nastaven na 3 l.min⁻¹ a vyhodnocovací doba byla nastavena na 10 vteřin v centru SmíchOFF a 1 minutu v centru Mammut. Během této doby byly hodnoty časově průměrovány. Přístroj byl zapojen po celou dobu měření do elektrické sítě. Pro případ nenadálého výpadku proudu měl přístroj baterii.

3.2.2. Harvard impaktor

Harvard impaktor, který byl použit, měří koncentraci PM₁₀ pomocí gravimetrické analýzy. Proto je třeba před začátkem měření zvážit a zaznamenat váhu čistého filtru, která se po měření odečte od váhy filtru po expozici. Pomocí gravimetrického stanovení, známého průtoku a doby měření je možno vypočítat objemovou koncentraci PM₁₀.

K impaktoru byla připojena pumpa s konstantním průtokem 10 l.min⁻¹. Průtok byl předem nastaven v laboratoři za pomoci Thermal Mass Flowmeteru.

Proběhlo 5 kontrolních vážení filtru před expozicí a 5 vážení po expozici.

3.3. Umístění DustTraku a Harvard impaktoru

V lezeckém centru SmíchOFF byl DT v ochranném kufříku z bezpečnostních důvodů umístěn ve výšce přibližně 3 metry nad zemí, v horním rohu obdélníkové konstrukce sloužící k rozcvičení a posilování (viz fotografie v [příloze](#)), která se nachází přibližně uprostřed haly.

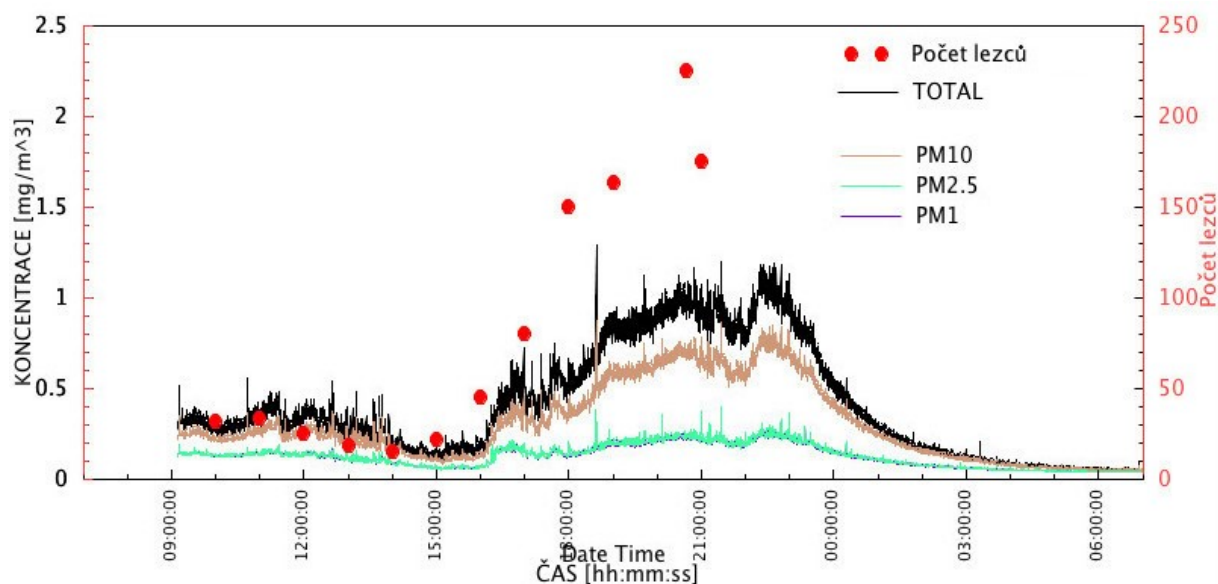
Harvard impaktor byl umístěn na stejném místě. V bezprostřední blízkosti se nacházel ventilátor sloužící k lepší cirkulaci vzduchu v hale. Vzdálenost od stěn haly byla přibližně 5-15 metrů.

V lezeckém centru Mammut byl přístroj rovněž v kufříku, ve výšce kolem 3 metrů nad zemí, na kraji haly přímo u stěny (viz fotografie v [příloze](#)). V bezprostřední blízkosti se nacházelo posilovací zařízení.

4. Výsledky měření

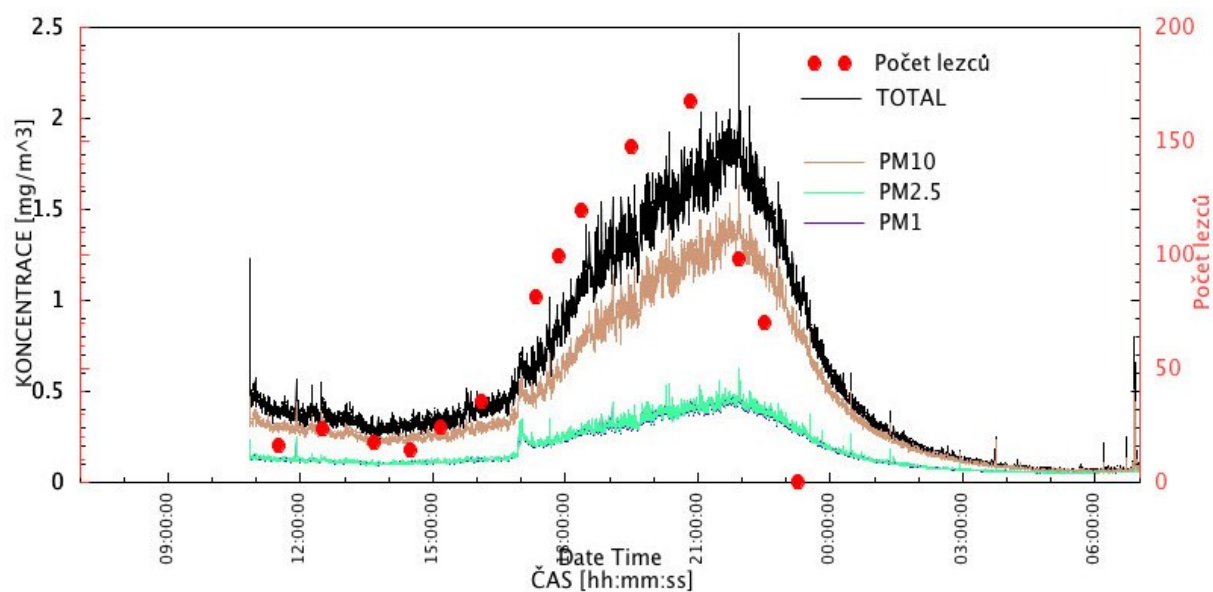
Shrnutí naměřených hodnot z jednotlivých lokací. Hodnoty jsou zobrazeny v grafech, které popisují trend jednotlivých koncentrací, zpravidla za časový úsek 24 hodin.

4.1. Měření v lezeckém centru SmíchOFF - DustTrak

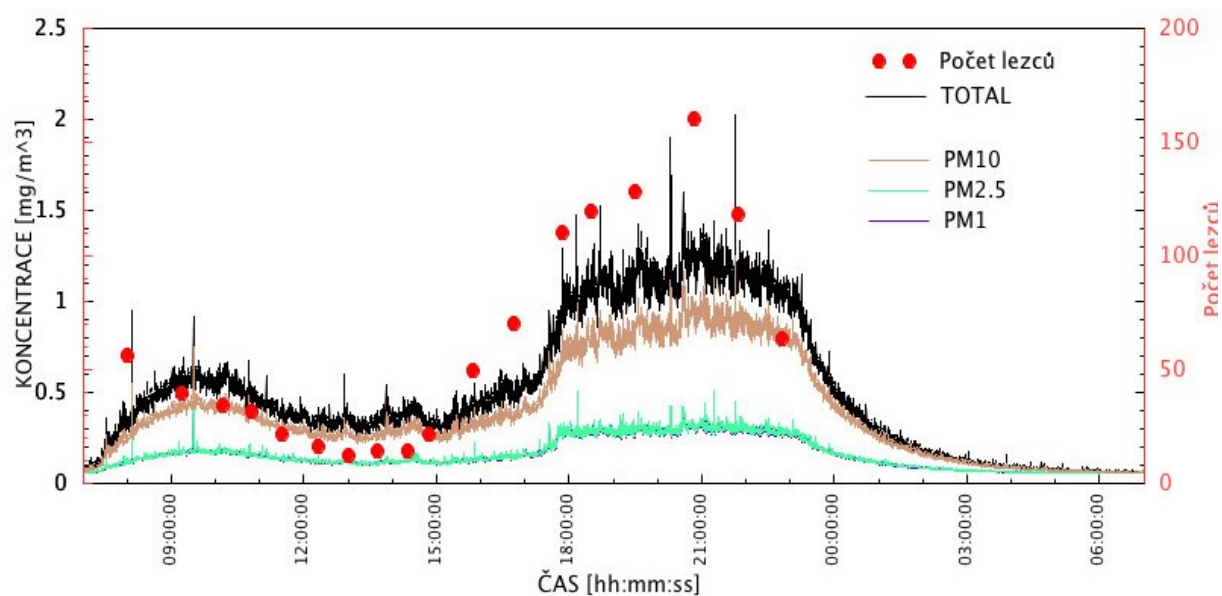


Obr. 4: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase.

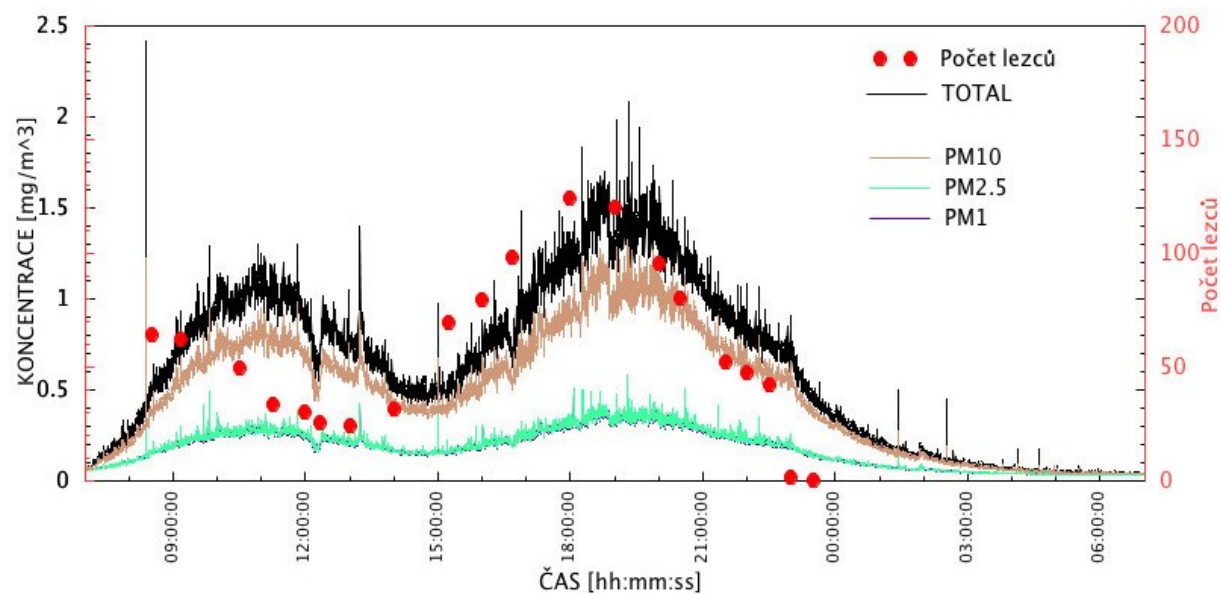
Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 13.4.2016.



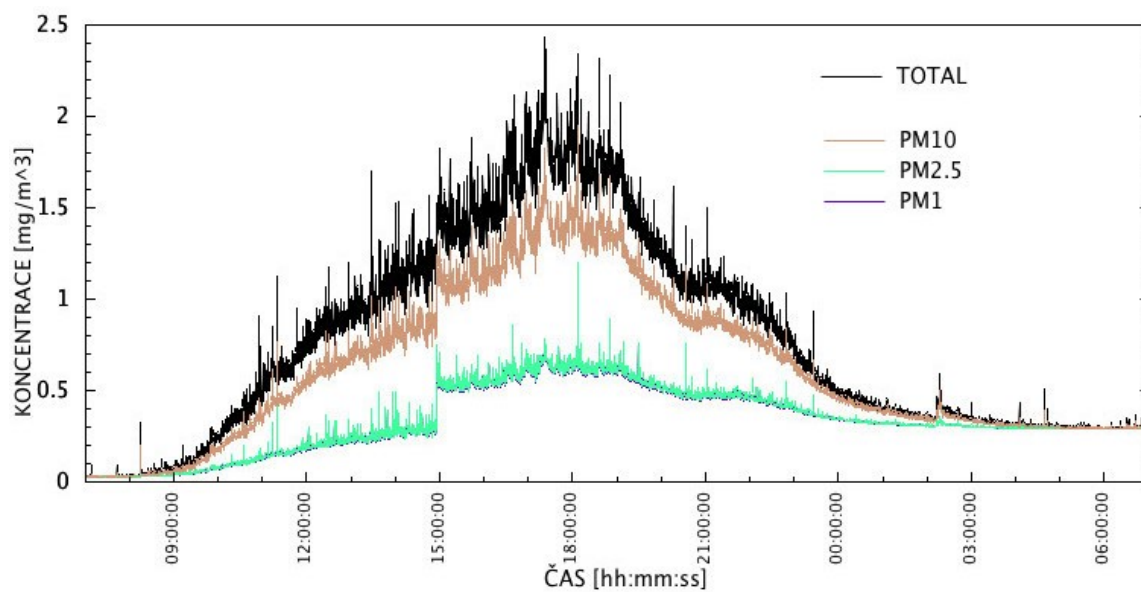
Obr. 5: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 20.4.2016.



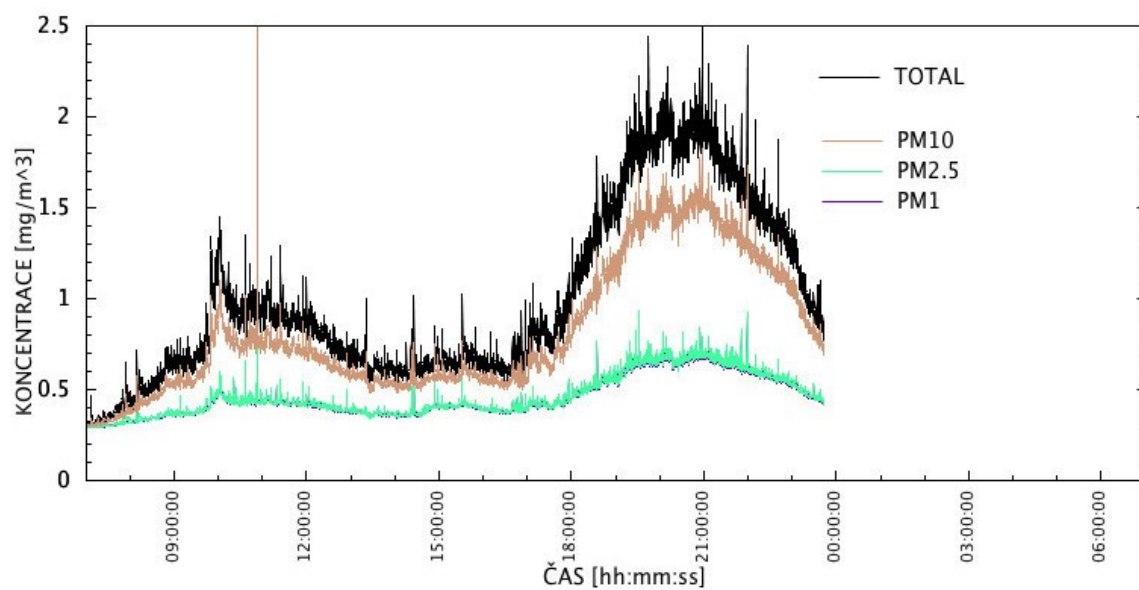
Obr. 6: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 21.4.2016.



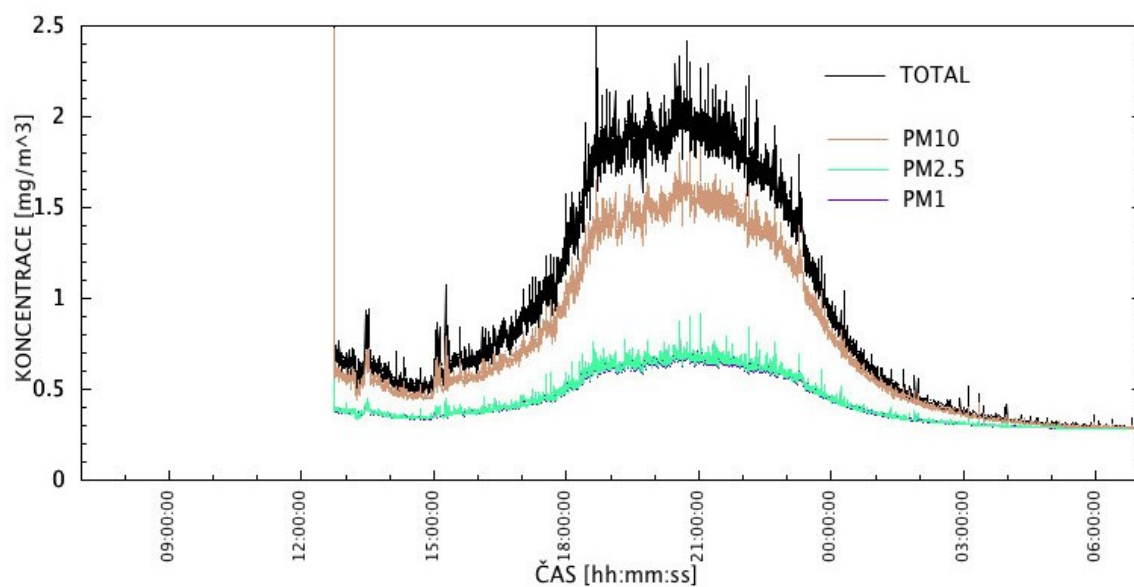
Obr. 7: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 22.4.2016.



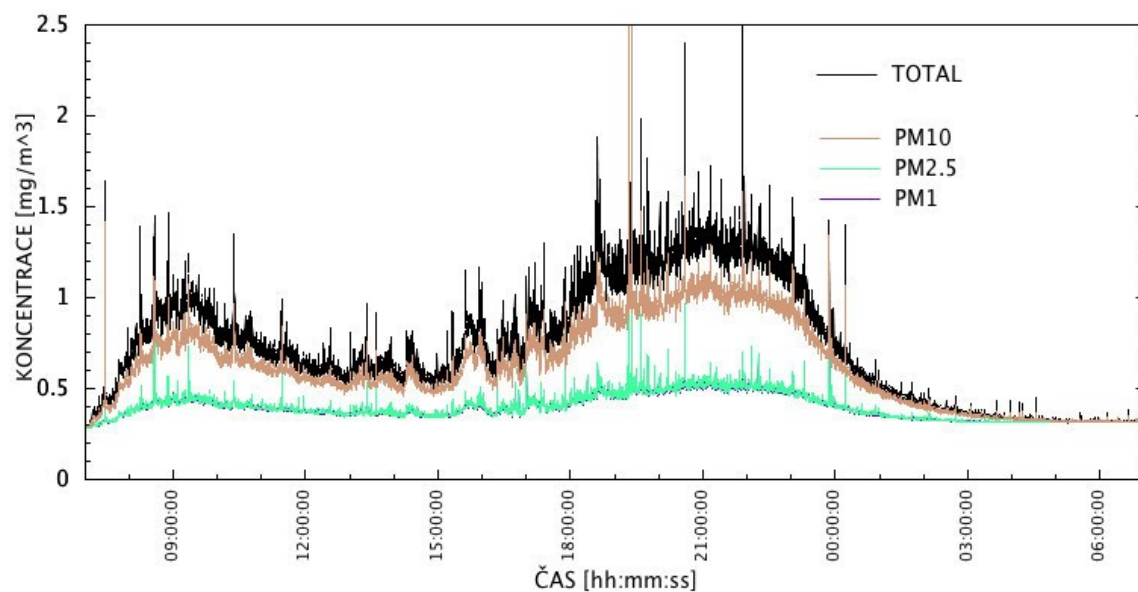
Obr. 8: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 24.4.2016.



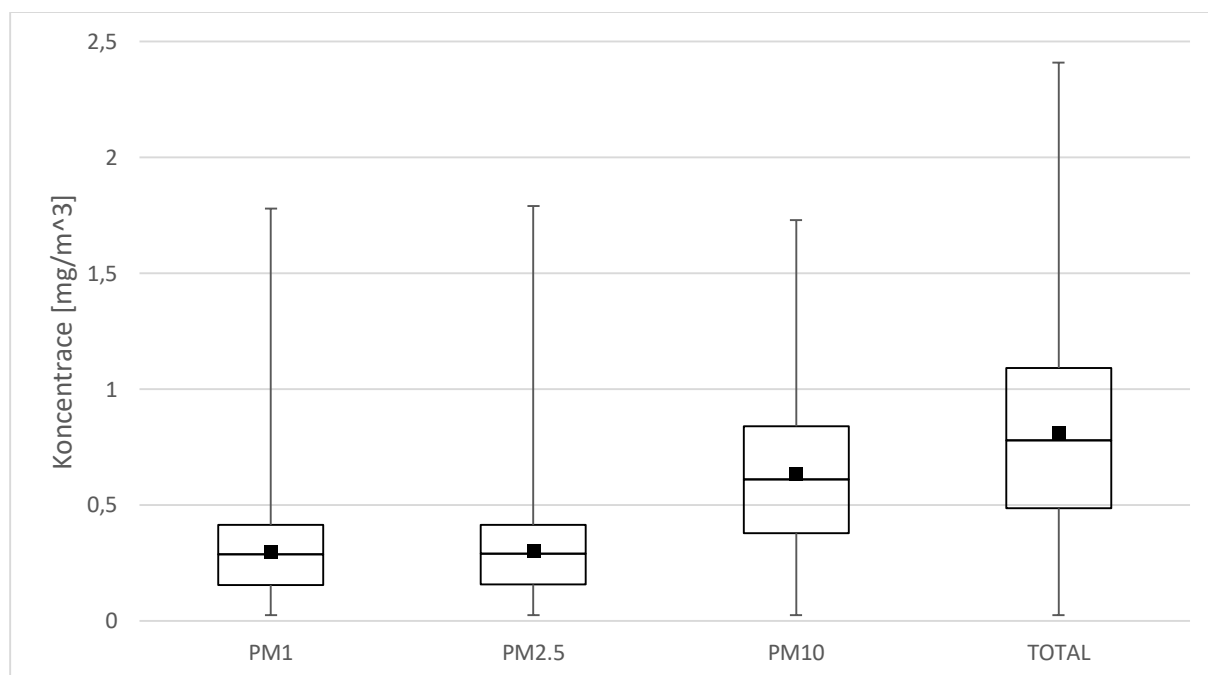
Obr. 9: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL a zobrazení počtu lezců v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 25.4.2016.



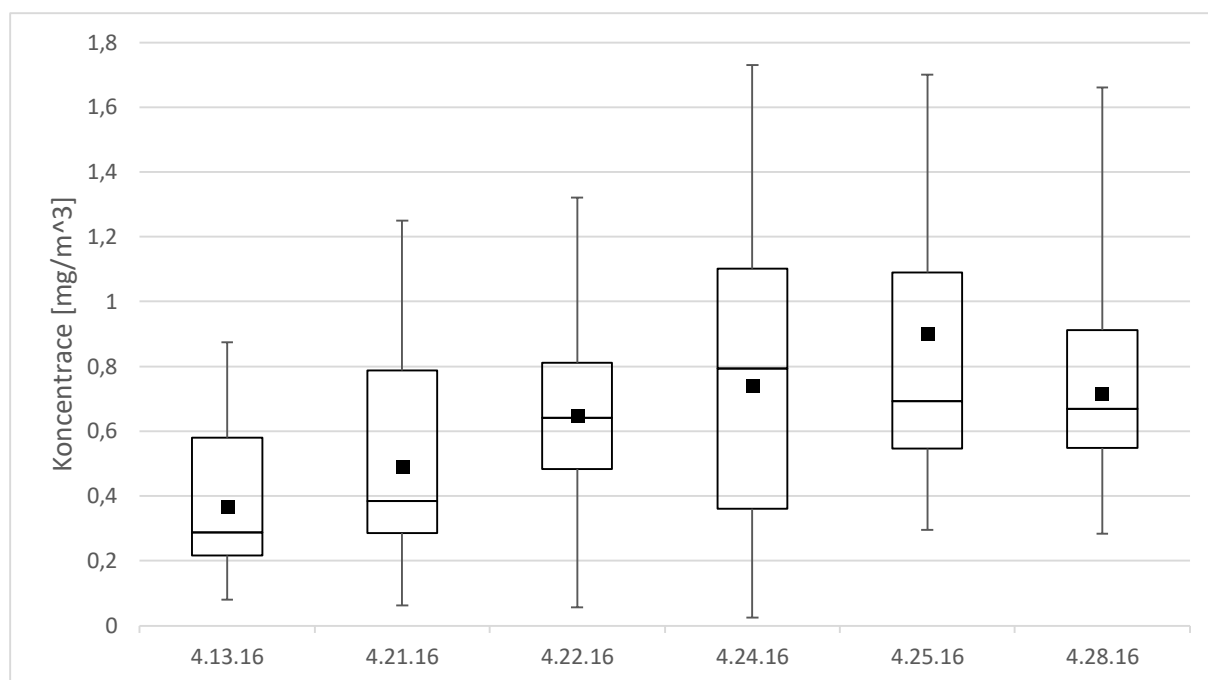
Obr. 10: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 27.4.2016.



Obr. 11: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém centru SmíchOFF dne 28.4.2016.



Obr. 12: Statistické vyhodnocení frakcí PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v lezeckém centru SmíchOFF pro celou dobu měření.



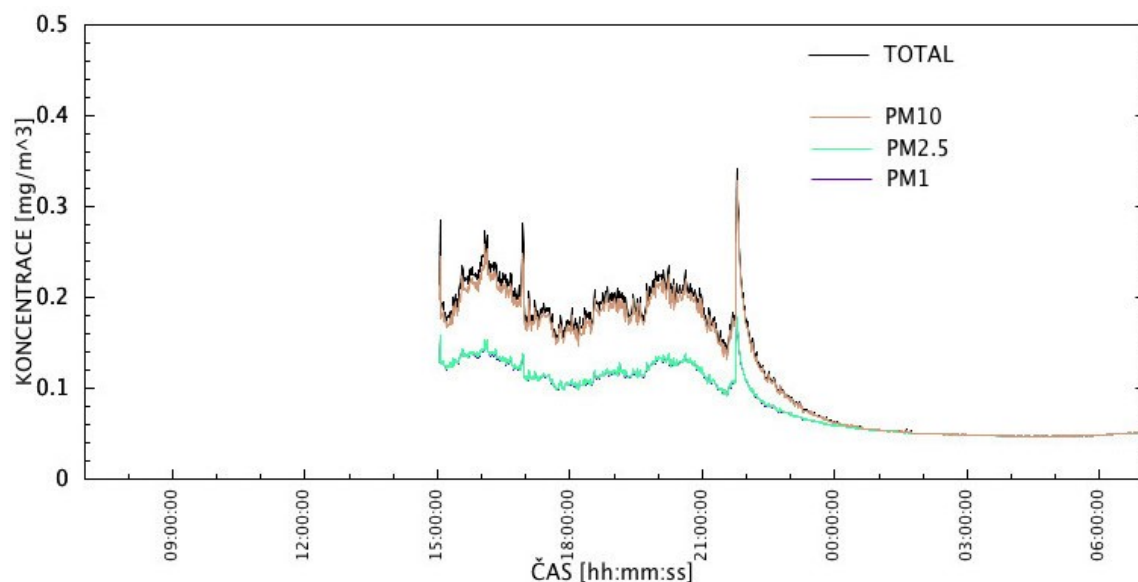
Obr. 13: Statistické vyhodnocení frakce PM₁₀ pro jednotlivé dny v lezeckém centru SmíchOFF.

4.2. Lezecké centrum SmíchOFF – harvard impaktor

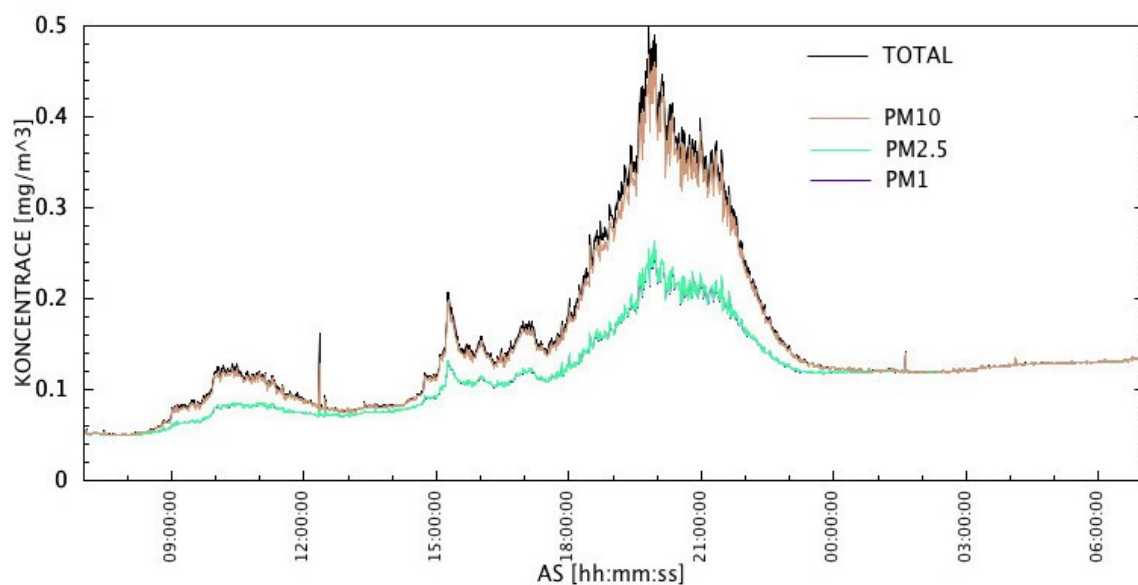
Během měření proteklo impaktorem $12,65 \text{ m}^3$ vzduchu. Medián hmotnosti filtru po expozici byl $98,594 \text{ mg}$ a rozdíl v navážkách filtru před a po expozici byl $4,843 \text{ mg} \pm 0,002 \text{ mg}$. Průměrná koncentrace prachových částic ze dne 20.4.2016 11:05 – 21.4.2016 8:10 **$0,383 \text{ mg.m}^3$** . Průměrná koncentrace PM_{10} naměřená pomocí DT byla v tento den **$0,454 \text{ mg.m}^3$** .

Během měření od 21.4.2016 do 22.4.2016 proteklo impaktorem $14,410 \text{ m}^3$ vzduchu. Medián hmotnosti filtru po expozici byl $98,393 \text{ mg}$. Rozdíl mezi hmotnostmi filtru před a po expozici byl $4,475 \text{ mg} \pm 0,038 \text{ mg}$ a byla vypočítána průměrná koncentrace **$0,311 \text{ mg.m}^3$** . DT naměřil průměrnou koncentraci **$0,392 \text{ mg.m}^3$** .

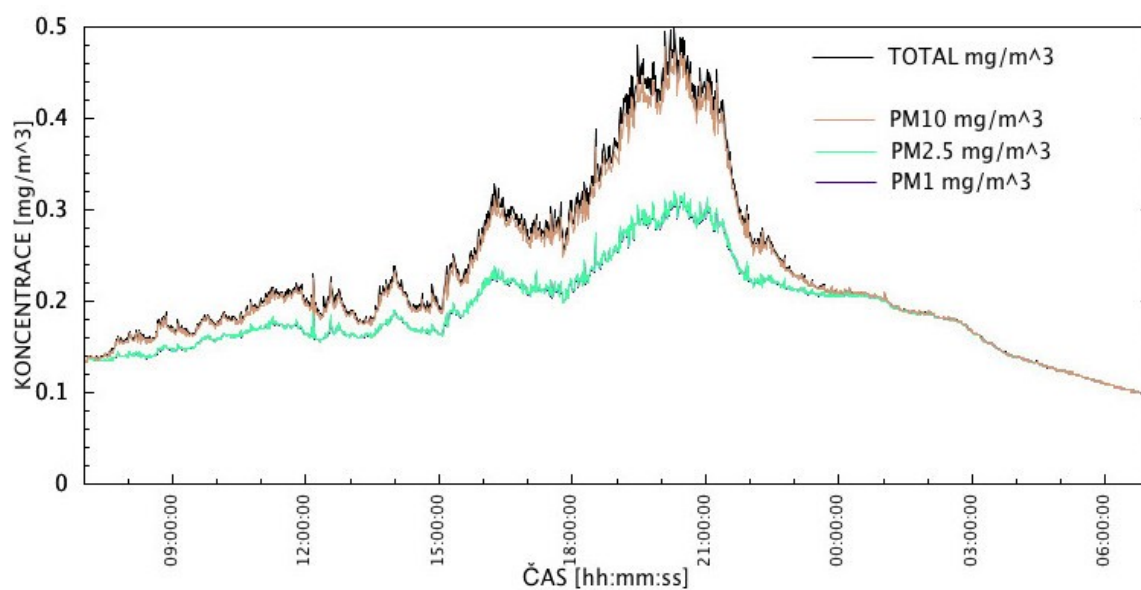
4.3. Měření v lezeckém centru Mammút



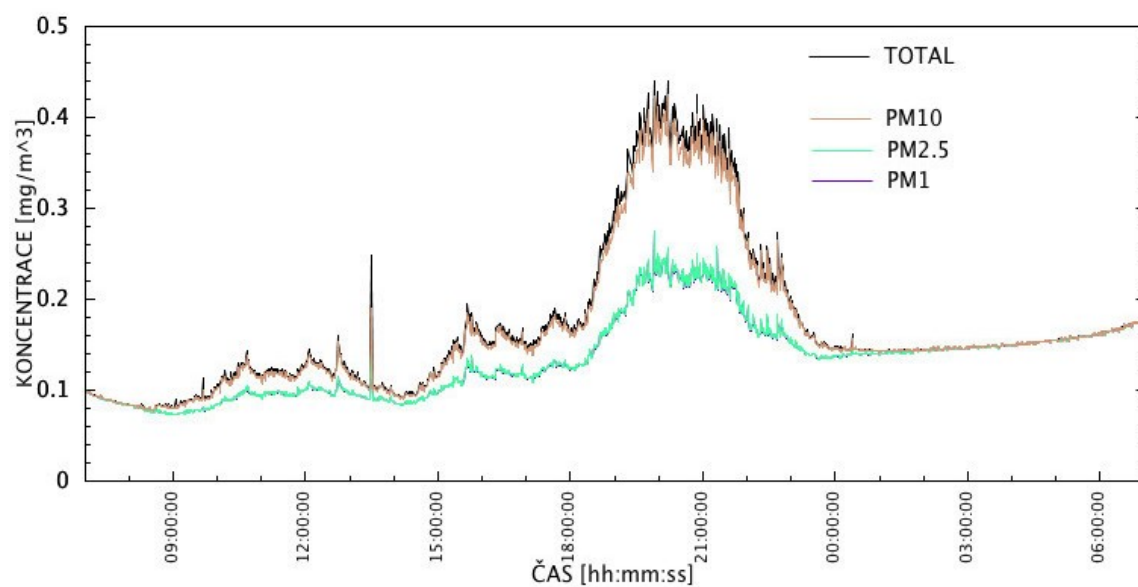
Obr. 14: Průběh koncentrací PM_1 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammút dne 30.1.2017.



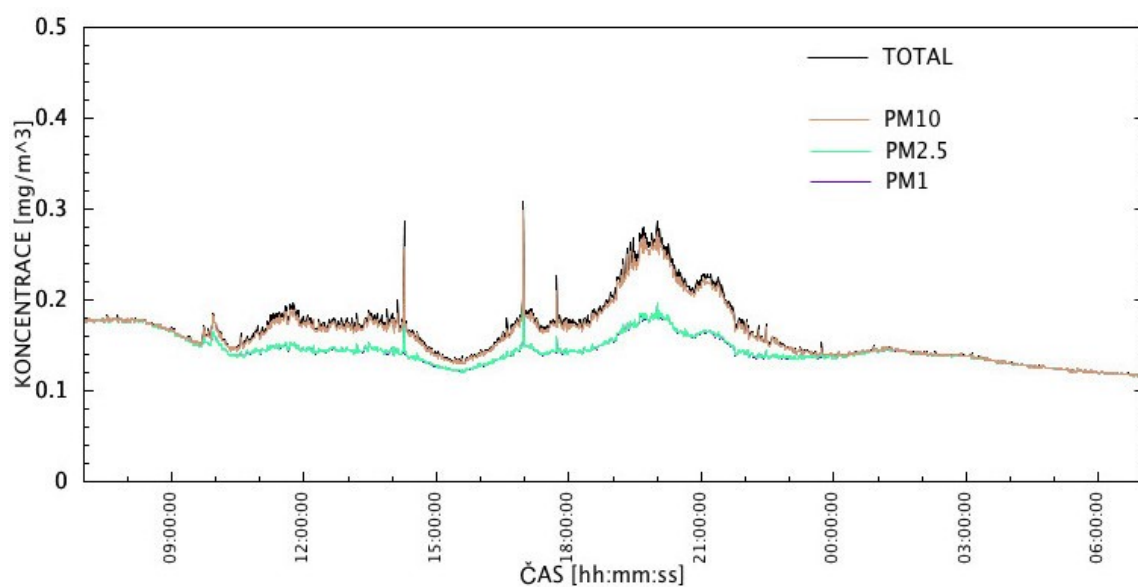
Obr. 15: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammuth dne 31.1.2017.



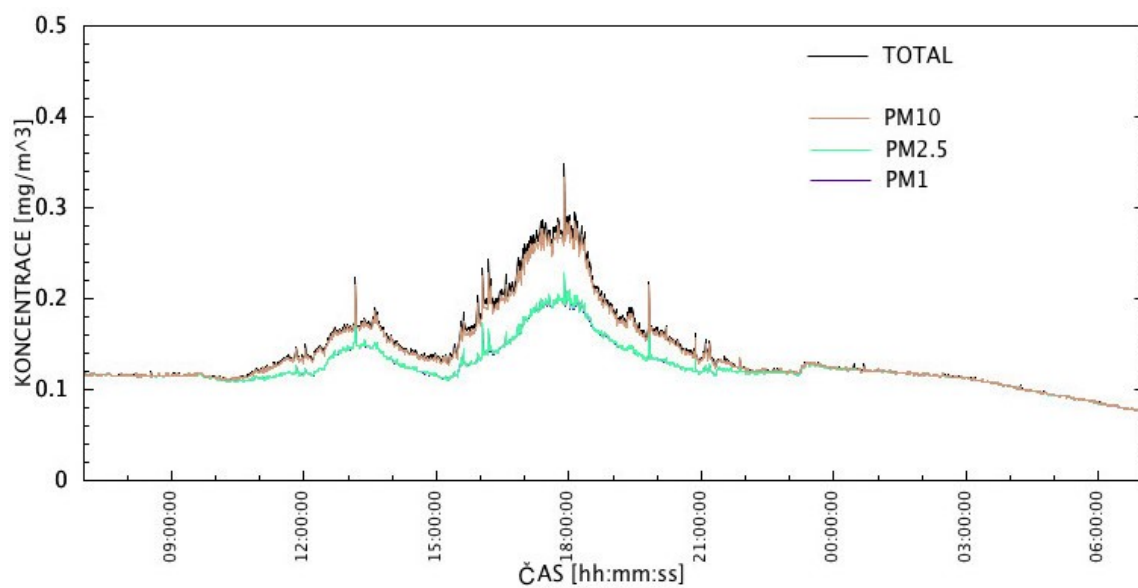
Obr. 16: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammuth dne 1.2.2017.



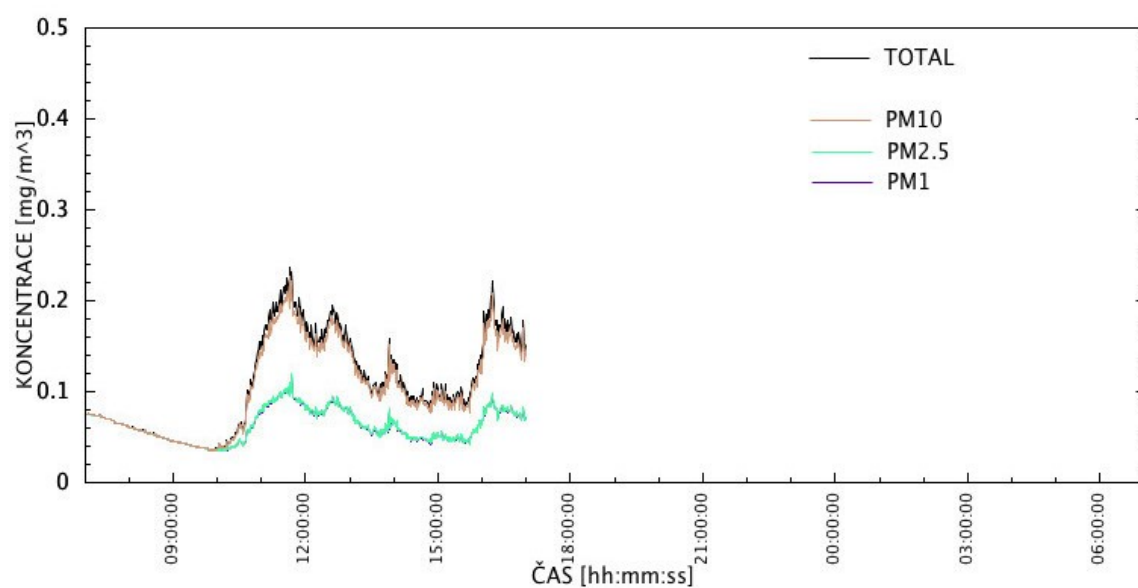
Obr. 17: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammuth dne 2.2.2017.



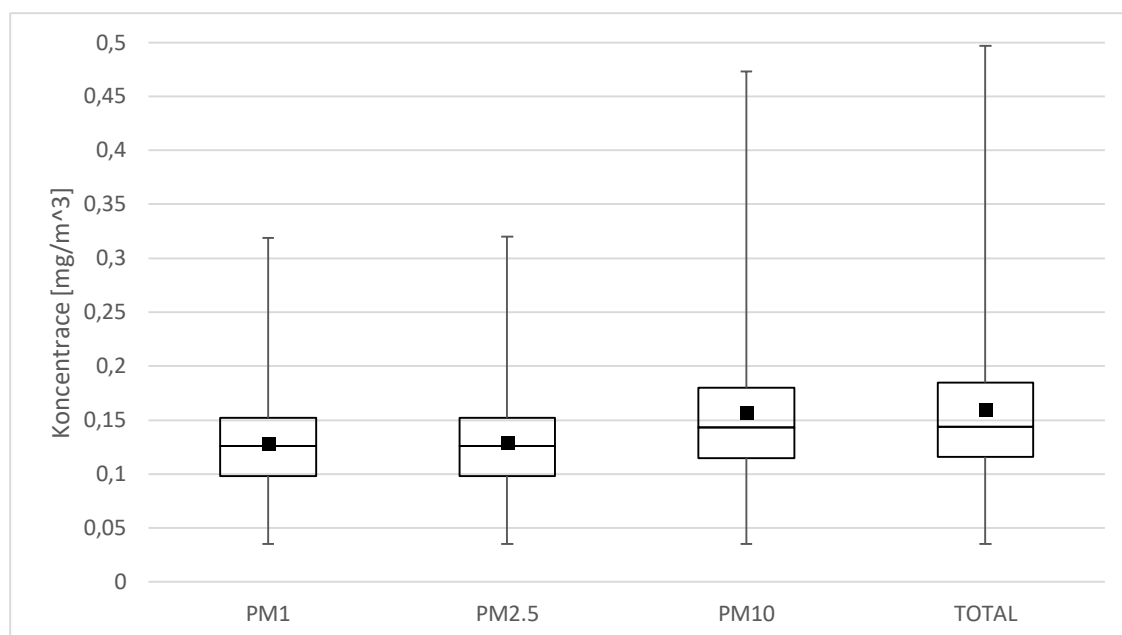
Obr. 18: Průběh koncentrací PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammuth dne 3.2.2017.



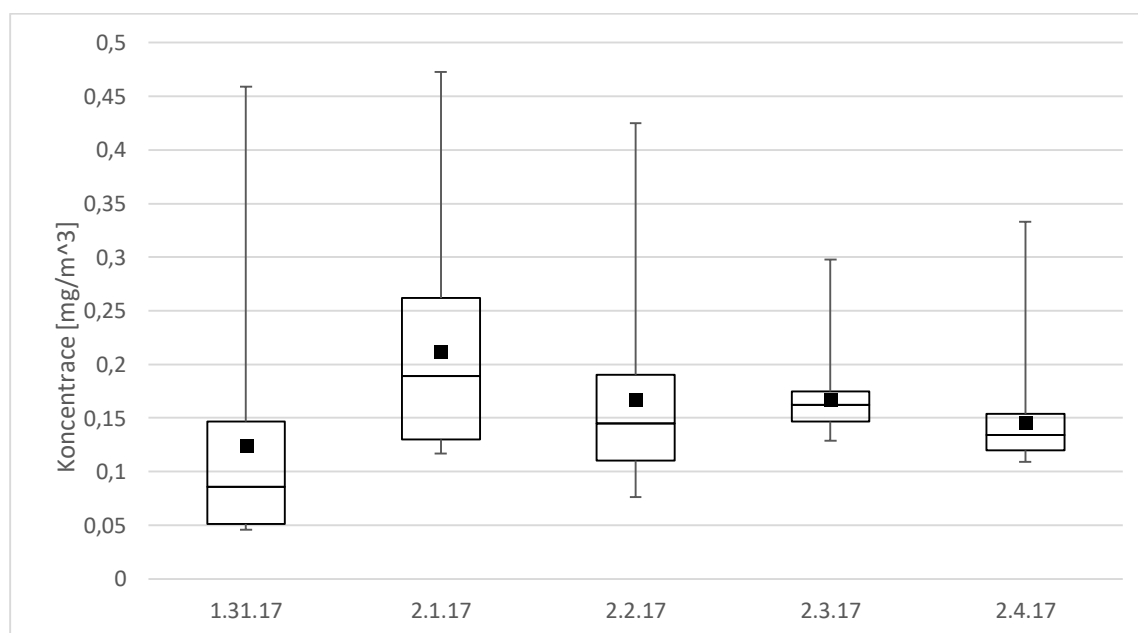
Obr. 19: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammut dne 4.2.2017.



Obr. 20: Průběh koncentrací PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} a TOTAL v závislosti na čase. Měření probíhalo v Lezeckém Centru Mammut dne 5.2.2017.



Obr. 21: Statistické vyhodnocení frakcí PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ a TOTAL v lezeckém centru Mammut pro celou dobu měření.



Obr. 22: Statistické vyhodnocení frakce PM₁₀ pro jednotlivé dny v lezeckém centru Mammut.

5. Diskuze

Využila jsme měření městských stanic ČHMÚ – AIM, abych mohla zjistit vliv denního chodu vnějších koncentrací prachových částic na koncentrace naměřené ve vnitřním prostředí lezeckých hal. Mediány pozadřových hodnot, získané ze stanic AIM za jednotlivé dny, se pohybovaly v rozmezí $0,015 - 0,045 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ v blízkosti centra SmíchOFF a rozmezí $0,045 - 0,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ v okolí centra Mammut. Můžeme tedy předpokládat, že příspěvek koncentrací prachových částic z vnějšího prostředí nebyl nijak zásadní.

Bylo by vhodné měřit současně koncentrace pevných částic vnějšího prostředí v těsné blízkosti lezecké haly za použití stejného přístroje. To bohužel nebylo možné, protože se nám nepodařilo najít vhodné umístění přístrojů, aby zároveň nehrozila jejich krádež.

Harvard impaktorem jsem naměřila a vypočítala průměrné koncentrace nižší, než je průměrná koncentrace pro 20. 4. a 21. 4. 2016 naměřená DT. Rozdíl je zřejmě způsoben odlišností metod. Gravimetrie je metoda založená na měření hmotnosti částic a může být ovlivněna relativní vzdušnou vlhkostí a teplotou prostředí. DT je založen na detekci odraženého záření, pracuje tedy s velikostí částice, ne s její hmotností. Při manipulaci se vzorky z Harvard impaktoru také mohlo dojít ke ztrátám při manipulaci, neboť byla zachycena velká hmota aerosolu.

Z naměřených hodnot z Lezeckého centra SmíchOFF lze vyzorovat závislost koncentrací PM na počtu lezců. Se zvyšujícím se počtem lezců rostou koncentrace PM. Vedení lezeckého centra Mammut nám bohužel neposkytlo informace o počtu návštěvníků, ale podle měření a také podle studie publikované v článku *Dust exposure in indoor climbing halls* (Weinbruch, S., et al., 2008) lze předpokládat, že i zde naměřené koncentrace jsou závislé na počtu lezců. Večer, po ukončení pracovní doby a odchodu návštěvníků i pracovníků stěny dochází k sedimentaci částic a k výraznému poklesu jejich koncentrací.

Nejvyšší hodnoty jsme v lezeckém centru SmíchOFF obvykle naměřili kolem 21:00 hodiny. Návštěvníci obvykle přicházejí na stěnu po práci, proto jsou večerní hodiny vytíženější. Touto dobou většinou koncentrace neklesaly pod $1,5 - 2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Výjimku tvoří víkend a pátek, kde byly nejvyšší hodnoty naměřeny kolem 18:00. V lezeckém centru Mammut byly hodnoty obvykle nejvyšší kolem 20:00, výjimkou je opět víkend, kdy byly nejvyšší koncentrace zaznamenány kolem 18:00. V této době se hodnoty pohybovaly mezi $0,2 - 0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Po skončení otevírací doby můžeme z grafů vyzorovat sedimentaci částic, která trvá přibližně 3,5 h.

V lezeckém centru Mammut byly celkové příspěvky PM_{2.5} a PM₁ vyrovnané, zatímco PM₁₀ tam oproti nim bylo zhruba 1,2x více. V lezeckém centru SmíchOFF byl také poměr PM_{2.5} a PM₁ vyrovnaný, oproti tomu PM₁₀ bylo zhruba 2x více. Když porovnáme centra mezi sebou, celkově se v lezeckém centru SmíchOFF vyskytovalo 1,75x více prachových částic než v lezeckém centru Mammut.

Naměřené výsledky korelují s výsledky publikovanými v zahraničních studiích, kde v lezeckých halách naměřili srovnatelné hmotnostní koncentrace a denní průběh závislý na počtu lezců.

Z přiložených grafů můžeme někdy pozorovat, že i přes zvyšující se počet lezců se sníží koncentrace prachových částic. Např. na obr. 4 vidíme mezi 17 a 19 hodinou pokles koncentrací i přes zvyšující se počet lezců – je to pravděpodobně důsledek otevření střešních oken. Podobný jev můžeme pozorovat i na obr. 6 v čase 19:30 – 21:00.

Srovnala jsem 24 hodinový průměr koncentrací PM₁₀ naměřených v lezeckém centru Mammut (viz obr. 22), s imisními limity stanovenými pro PM₁₀. Tyto limity byly překročeny každý den měření a to 2,5 – 4,2násobně. Stejně srovnání jsem provedla i s hodnotami PM₁₀ z lezeckého centra SmíchOFF. I zde naměřené hodnoty by překročily imisní limity a to 7,34 – 18násobně.

6. Závěr

Experimentální měření dokazuje, že koncentrace prachových částic v lezeckých halách jsou v korelaci s počtem lezců. Zvýšené koncentrace v ovzduší lezeckých hal způsobuje používání práškové magnesia k vysoušení pokožky rukou. Čím vyšší je počet lezců, tím vyšší jsou hmotnosti koncentrace prachových částic v ovzduší.

Trendy koncentrací Po-Čt vykazují podobný průběh, páteční a víkendové mají průběh odlišný. Průměrné denní hodnoty PM₁₀ i PM_{2.5} přesahují limity stanovené evropskou unií i ČHMÚ. Poměry PM₁ k PM_{2.5} byly na obou stěnách vyrovnané, zatímco PM₁₀ bylo v obou případech vyšší.

Vzhledem ke zjevné závislosti prašnosti na počtu lezců, je lepší navštěvovat lezeckou stěnu mimo špičku. Zvláště by se to dalo doporučit dětem a zvážit, zda s sebou brát na stěnu velmi malé, zatím nelezoucí, děti. Toto doporučení platí i pro starší osoby, osoby s onemocněním dýchacích cest nebo citlivé osoby.

Pro vedení lezeckých center by výsledky měření mohly vést k úvahám o instalaci dostatečně výkonné vzduchotechniky, omezení či zákazu používání magnesia v práškové formě, případně ke snížení maximálního povoleného počtu lezců během nejvytíženějších hodin.

Otevírá se možnost provést další měření, doplněná měřením koncentrací prachových částic vnějšího ovzduší, v těsné blízkosti lezeckého centra za použití stejných přístrojů pro venkovní i vnitřní měření. Pomocí vhodné kvalitativní analýzy by bylo možné zjistit složení PM naměřených v lezeckých halách. Tím by se tedy dalo odpovědět na otázku, jak velkým dílem přispívá magnesium k celkovým PM.

Literatura

- Amca, A. M., Vigouroux, L., Aritan, S., & Berton, E. (2012). The effect of chalk on the finger–hold friction coefficient in rock climbing. *Sports Biomechanics*, 11(4), 473–479.
- Alves, C., Calvo, A. I., Marques, L., Castro, A., Nunes, T., Coz, E., & Fraile, R. (2014). Particulate matter in the indoor and outdoor air of a gymnasium and a fronton. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(21), 12390–12402.
- Braniš, M., & Hůnová, I. (2009). *Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší* (1st ed.). Praha 1: Karolinum.
- Braniš, M., & Šafránek, J. (2011). Characterization of coarse particulate matter in school gyms. *Environmental Research*, 111(4), 485–491.
- Braniš, M., Šafránek, J., & Hytychová, A. (2009). Exposure of children to airborne particulate matter of different size fractions during indoor physical education at school. *Building and Environment*, 44(6), 1246–1252.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*.
- Cuccia, E., Bernardoni, V., Massabò, D., Prati, P., Valli, G., & Vecchi, R. (2010). An alternative way to determine the size distribution of airborne particulate matter. *Atmospheric Environment*, 44(27), 3304–3313.
- Curtius, J. (2006). Nucleation of atmospheric aerosol particles. *Comptes Rendus Physique*, 7(9–10), 1027–1045.
- Hinds, W. C. (1999). *Aerosol technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. Wiley-Interscience Publication, 3-11.
- Hussein, T. (2017). Indoor-to-outdoor relationship of aerosol particles inside a naturally ventilated apartment – A comparison between single-parameter analysis and indoor aerosol model simulation. *Science of the Total Environment*, 596-597, 321–330.

- Hůnová, I., Janoušková, S. (2004). Vliv znečišťujících příměsí na receptory. Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. První vydání. Praha, Karolinum. s. 144. ISBN: 80-246-0796-4
- Hovorka, J. (2009). Atmosférický aerosol. Definice a formy atmosférického aerosolu. In: Braniš, M., Hůnová, I. (Ed.), *Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší*. První vydání. Praha, Karolinum. s. 121–139. ISBN: 978-80-246-1598-1
- Li, F.-X., Margetts, S., & Fowler, I. (2001). Use of “chalk” in rock climbing: sine qua non or myth? *Journal of Sports Sciences*, 19(6), 427–432.
- Ling, S. H., & van Eeden, S. F. (2009). Particulate matter air pollution exposure: role in the development and exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252.
- Osunsanya, T., Prescott, G., & Seaton, a. (2001). Acute respiratory effects of particles: mass or number? *Occupational and Environmental Medicine*, 58(3), 154–9.
- Phalen, R., & Phalen, R. (2012). Introduction to Air Pollution Science. *Introduction to Air Pollution Science*, 1–20.
- Pope, C. A. (2000). Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? *Environmental Health Perspectives*, 108(Suppl 4), 713–723.
- Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287(9), 1132–1141.

Weinbruch, S., Dirsch, T., Ebert, M., Hofmann, H., & Kandler, K. (2008). Dust exposure in indoor climbing halls. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(5), 648–654.

Weinbruch, S., Dirsch, T., Kandler, K., Ebert, M., Heimburger, G., & Hohenwarter, F. (2012). Reducing dust exposure in indoor climbing gyms. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(8), 2114

Elektronické zdroje

EC, *Air Quality Standards*. [cit. 15.4.2018]. Dostupné z:

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

ČHMÚ, *Imisní limity*. [cit. 15.4.2018]. Dostupné z:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html

ČHMÚ, *Slovníček základních pojmů*. [cit. 6.8.2017]. Dostupné z:

<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/slovnicek-zakladnich-pojmu>

SZÚ, *Prašnost na pracovišti*. [cit. 15.4.2018]. Dostupné z:

<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>

TSI, *Application notes*. [cit. 7.8.2017]. Dostupné z:

<http://www.tsi.com/DUSTTRAK-DRX-Aerosol-Monitor-8533/#Accessories>

Tunel Blanka, *Intenzita dopravy*. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z:

<http://www.tunelblanka.info/intenzity-dopravy-v-listopadu-2017/>

Přílohy



Příloha č. 1: Hala lezeckého centra SmíchOFF, na šedé konstrukci uprostřed byl umístěn DustTrak



Příloha č. 2: Umístění DT v lezeckém centru SmíchOFF. V levém rohu konstrukce blíže k nám.



Příloha č. 3: Umístění DT v lezeckém centru SmíchOFF.



Příloha č. 4: Umístění DT v lezeckém centru Mammut.



Příloha č. 5: Umístění DT v lezeckém centru Mammut.



Příloha č. 6: Umístění DT v lezeckém centru Mammut.